

(19) 日本国特許庁 (JP)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2002-323653  
(P2002-323653A)

(43) 公開日 平成14年11月8日 (2002.11.8)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>  
G 0 2 B 13/24  
G 0 3 F 7/20  
H 0 1 L 21/027識別記号  
5 0 2F I  
G 0 2 B 13/24  
G 0 3 F 7/20  
H 0 1 L 21/30テーマコード\* (参考)  
2 H 0 8 7  
5 0 2 2 H 0 9 7  
5 1 5 D 5 F 0 4 6

審査請求 未請求 請求項の数18 O.L. (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2001-254704 (P2001-254704)  
 (22) 出願日 平成13年8月24日 (2001.8.24)  
 (31) 優先権主張番号 特願2001-49306 (P2001-49306)  
 (32) 優先日 平成13年2月23日 (2001.2.23)  
 (33) 優先権主張国 日本 (JP)

(71) 出願人 000004112  
株式会社ニコン  
東京都千代田区丸の内3丁目2番3号  
 (72) 発明者 大村 泰弘  
東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株  
式会社ニコン内  
 (74) 代理人 100095957  
弁理士 亀谷 美明 (外2名)

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 投影光学系、投影露光装置および投影露光方法

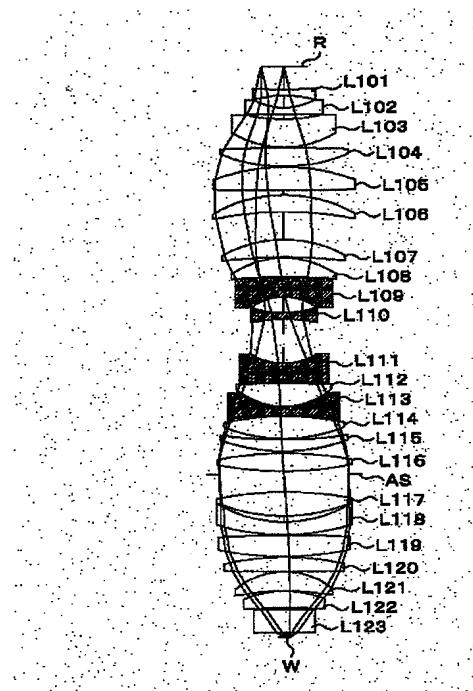
## (57) 【要約】

【課題】 高コスト化を招くことなく、良好に色収差補正され、微細なパターンを高解像に投影可能な投影光学系を提供すること。また、極微細化された投影原版のパターンの像を基板に良好に投影露光可能な投影露光装置及び投影露光方法を提供すること。

【解決手段】 少なくとも2種類の弗化物材料からなる屈折光学部材を含み、第1の弗化物材料からなる屈折光学部材の中で最大有効径を有する面の有効径をMx1とし、第2の弗化物材料からなる屈折光学部材の中で最大有効径を有する面の有効径をMx2とし、Mx1がMx2より大きいとき、

$$0.4 < Mx2 / Mx1 < 0.87$$

を満足することを特徴とする屈折型の投影光学系を提供する。また、前記投影光学系と、自然発振時に対して狭帯化された露光光を供給する狭帯化光源と、を含む投影露光装置を提供する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 第1面の像を第2面上に投影する屈折型の投影光学系であって、前記投影光学系は少なくとも2種類の弗化物材料からなる屈折光学部材を含み、第1の弗化物材料からなる屈折光学部材の中で最大有効径を有する面の有効径をMx1とし、第2の弗化物材料からなる屈折光学部材の中で最大有効径を有する面の有効径をMx2とし、Mx1がMx2より大きいとき、  
 $0.4 < Mx2 / Mx1 < 0.87$

を満足することを特徴とする投影光学系。

【請求項2】 前記第1の弗化物材料は弗化カルシウムであり、前記第2の弗化物材料は弗化バリウムであることを特徴とする請求項1に記載の投影光学系。

【請求項3】 前記屈折型の投影光学系は、正レンズ成分と負レンズ成分とを含み、前記正レンズ成分は前記第1の弗化物材料で形成され、前記負レンズ成分は前記第2の弗化物材料で形成されることを特徴とする請求項1または2に記載の投影光学系。

【請求項4】 前記屈折型の投影光学系中の全てのレンズ成分は、前記少なくとも2種類の弗化物で形成されることを特徴とする請求項1乃至3の何れか一項に記載の投影光学系。

【請求項5】 前記第2の弗化物材料からなる各屈折光学部材のFナンバをFNiとするとき、

$0.8 < |FNi|$

を満足することを特徴とする請求項1乃至4の何れか一項に記載の投影光学系。

【請求項6】 投影原版に設けられたパターンの像を基板上に投影露光する投影露光装置であって、露光光を供給する光源と、前記露光光を前記投影原版へ導く照明光学系と、請求項1乃至5の何れか一項に記載の投影光学系と、を有し、前記第1面に前記投影原版を配置可能とし、前記第2面に前記基板を配置可能としたことを特徴とする投影露光装置。

【請求項7】 投影原版に設けられたパターンの像を基板上に投影露光する投影露光装置であって、自然発振時に対して狭帯化された露光光を供給する狭帯化光源と、前記狭帯化された露光光を前記投影原版へ導く照明光学系と、前記投影原版からの露光光に基づいて前記パターンの像を前記基板上に結像する投影光学系と、を有し、前記投影光学系は、少なくとも2種類の弗化物材料からなる屈折光学部材を含むことを特徴とする投影露光装置。

【請求項8】 前記投影光学系が含む屈折光学部材は、全て弗化物材料からなることを特徴とする請求項7に記載の投影露光装置。

【請求項9】 前記少なくとも2種類の弗化物材料は弗化カルシウムおよび弗化バリウムであることを特徴とする請求項7または8に記載の投影露光装置。

【請求項10】 前記少なくとも2種類の弗化物材料

は、第1の弗化物材料と第2の弗化物材料とを含み、前記第1の弗化物材料からなる屈折光学部材の中で最大有効径を有する面の有効径をMx1とし、前記第2の弗化物材料からなる屈折光学部材の中で最大有効径を有する面の有効径をMx2とし、Mx1がMx2より大きいとき、

$0.4 < Mx2 / Mx1 < 0.87$

を満足することを特徴とする請求項7乃至9の何れか一項に記載の投影露光装置。

10 【請求項11】 前記屈折型の投影光学系は、正レンズ成分と負レンズ成分とを含み、前記正レンズ成分は前記第1の弗化物材料で形成され、前記負レンズ成分は前記第2の弗化物材料で形成されることを特徴とする請求項10に記載の投影露光装置。

【請求項12】 前記少なくとも2種類の弗化物材料は、第1の弗化物材料と第2の弗化物材料とを含み、前記第2の弗化物材料からなる各屈折光学部材のFナンバをFNiとするとき、

$0.8 < |FNi|$

20 を満足することを特徴とする請求項7乃至11の何れか一項に記載の投影露光装置。

【請求項13】 前記狭帯化光源は、前記自然発振時に対する波長幅を半値全幅で1/2以下に狭帯化することを特徴とする請求項7乃至12の何れか一項に記載の投影露光装置。

【請求項14】 前記狭帯化光源にF<sub>2</sub>レーザを用いることを特徴とする請求項7乃至13の何れか一項に記載の投影露光装置。

30 【請求項15】 前記狭帯化光源は、自然発振時に対して狭帯化された光を発振する発振器と、前記発振器からの前記光の出力を增幅させる增幅器とを有することを特徴とする請求項7乃至14の何れか一項に記載の投影露光装置。

【請求項16】 前記狭帯化光源は、半値全幅で0.3pm以下の波長幅の露光光を供給することを特徴とする請求項7乃至15の何れか一項に記載の投影露光装置。

40 【請求項17】 前記少なくとも2種類の弗化物材料は、弗化カルシウム、弗化バリウム、弗化リチウム、弗化マグネシウム、弗化ストロンチウム、リチウム・カルシウム・アルミニウム・フローライド、及びリチウム・ストロンチウム・アルミニウム・フローライドからなるグループから選択された2種類の材料であることを特徴とする請求項7乃至16の何れか一項に記載の投影露光装置。

【請求項18】 投影原版に設けられたパターンの像を基板上に投影露光する投影露光方法であって、請求項7乃至17に記載の投影露光装置を用い、前記投影光学系を介して前記パターンの像を前記基板上に形成することを特徴とする投影露光方法。

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、例えば半導体集積回路、CCD等の撮像素子、液晶ディスプレイ、または薄膜磁気ヘッド等のマイクロデバイスをリソグラフィ技術を用いて製造する際に用いられる投影露光装置及び方法、該投影露光装置に好適な投影光学系に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】半導体素子等を製造するためのフォトリソグラフィ工程において、フォトマスクまたはレチクル（以下、まとめてレチクルという）のパターン像を、投影光学系を介して、フォトレジスト等が塗布されたウエハまたはガラスプレート等（以下、まとめてウエハという）上に露光する投影露光装置が使用されている。半導体素子等の集積度が向上するにつれて、投影露光装置に使用されている投影光学系に要求される解像力は益々高まっている。

【0003】一般に、光学系の分解能RはRayleighの式から以下のように表される。

$$R = k \cdot \lambda / NA$$

ここで、 $\lambda$ は露光波長、NAは投影光学系の像側開口数、kはレジストの解像力等によって決まる定数である。上式から明らかなように、解像力を向上させるには露光光の波長を短くし、且つNAを大きくすればよい。このことより、露光源としては、従来主に使用されていた水銀ランプのi線（波長：365nm）に代わってKrFエキシマレーザ（波長：248nm）が主流となってきており、さらに、それよりも短波長のArFエキシマレーザ（波長：193nm）も実用化されつつある。また、さらなる露光光の短波長化を目的として、F<sub>2</sub>レーザ（波長：157nm）等が用いられようとしている。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、NAを大きくすると、焦点深度が浅くなる。そのため、投影光学系にはさらに厳しい色収差補正が要求される。また、レジスト等の周辺技術の改良によって前述のkの値が小さくなっている。このため、わずかな露光量誤差や収差が解像力に大きく影響するようになり、色収差もさらに小さくする必要がある。

【0005】そこで、露光光を狭帯化することが考えられ、狭帯化された露光光を用いた露光装置が提案されている。しかし、従来提案されているこの種の露光装置では、投影光学系の屈折光学部材は単一材料で構成されている。このため、色収差の補正に限界があり、現在要求されているレベルの高解像を満たせなくなってきた。また、狭帯化は難易度が高く、単一材料からなる投影光学系で所望の色収差補正を得るまで、狭帯化を進めることは困難である。よって、投影光学系を構成する光学部材に複数種類の材料を用いて、さらに色収差補正を

向上させることが望まれていた。

【0006】ところで、F<sub>2</sub>レーザを光源に用いた場合、色収差補正効果があり、十分な透過率が期待でき、また加工性や耐久性に大きな問題のない材料は、限られたものになる。現時点で上記条件を満たす材料としては、弗化カルシウムと弗化バリウムの組み合わせにほぼ限定される。しかしながら、弗化バリウムは比重が大きく、均質性の良い材質を作ることが困難であり、また水に対する溶解度も高いため加工性も良いとはいえない。

10 これらのことから、色収差補正のために弗化バリウムの使用量が増えるとコスト増大につながるという問題があった。

【0007】本発明は、このような問題に鑑みてなされたものであり、その目的は、高コスト化を招くことなく、良好に色収差補正され、微細なパターンを高解像に投影可能な投影光学系を提供することにある。また、本発明の別の目的は、極めて微細化された投影原版のパターンの像を基板に良好に投影露光し得る投影露光装置及び投影露光方法を提供することにある。

## 20 【0008】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために、本発明に係る投影光学系は、第1面の像を第2面上に投影する屈折型の投影光学系であって、前記投影光学系は少なくとも2種類の弗化物材料からなる屈折光学部材を含み、第1の弗化物材料からなる屈折光学部材の中で最大有効径を有する面の有効径をMx1とし、第2の弗化物材料からなる屈折光学部材の中で最大有効径を有する面の有効径をMx2とし、Mx1がMx2より大きいとき、

30 0.4 < Mx2 / Mx1 < 0.87  
を満足するものである。

【0009】本発明の投影光学系の好ましい態様においては、前記第1の弗化物材料は弗化カルシウムであり、前記第2の弗化物材料は弗化バリウムである。本発明の投影光学系の好ましい態様においては、前記屈折型の投影光学系は、正レンズ成分と負レンズ成分とを含み、前記正レンズ成分は前記第1の弗化物材料で形成され、前記負レンズ成分は前記第2の弗化物材料で形成される。また、本発明の投影光学系の好ましい態様においては、

40 前記屈折型の投影光学系中の全てのレンズ成分は、前記少なくとも2種類の弗化物で形成される。また、本発明の投影光学系の好ましい態様においては、前記第2の弗化物材料からなる各屈折光学部材のFナンバをFNIとするとき、

0.8 < |FNI|  
を満足する。

【0010】上記課題を解決するために、本発明に係る投影露光装置は、投影原版に設けられたパターンの像を基板上に投影露光する投影露光装置であって、露光光を供給する光源と、前記露光光を前記投影原版へ導く照明

光学系と、上記記載の投影光学系と、を有し、前記第1面に前記投影原版を配置可能とし、前記第2面に前記基板を配置可能とするものである。

【0011】また、上記課題を解決するために、本発明に係る投影露光装置は、投影原版に設けられたパターンの像を基板上に投影露光する投影露光装置であって、自然発振時に対して狭帯化された露光光を供給する狭帯化光源と、前記狭帯化された露光光を前記投影原版へ導く照明光学系と、前記投影原版からの露光光に基づいて前記パターンの像を前記基板上に結像する投影光学系と、を有し、前記投影光学系は、少なくとも2種類の弗化物材料からなる屈折光学部材を含む。

【0012】本発明の投影露光装置の好ましい態様においては、前記投影光学系が含む屈折光学部材は、全て弗化物材料からなる。本発明の投影露光装置の好ましい態様においては、前記少なくとも2種類の弗化物材料は弗化カルシウムおよび弗化バリウムである。

【0013】本発明の投影露光装置の好ましい態様においては、前記少なくとも2種類の弗化物材料は、第1の弗化物材料と第2の弗化物材料とを含み、前記第1の弗化物材料からなる屈折光学部材の中で最大有効径を有する面の有効径をM<sub>x</sub>1とし、前記第2の弗化物材料からなる屈折光学部材の中で最大有効径を有する面の有効径をM<sub>x</sub>2とし、M<sub>x</sub>1がM<sub>x</sub>2より大きいとき、

$$0.4 < M_x 2 / M_x 1 < 0.87$$

を満足する。本発明の投影露光装置の好ましい態様においては、前記屈折型の投影光学系は、正レンズ成分と負レンズ成分とを含み、前記正レンズ成分は前記第1の弗化物材料で形成され、前記負レンズ成分は前記第2の弗化物材料で形成される。また、本発明の投影露光装置の好ましい態様においては、前記少なくとも2種類の弗化物材料は、第1の弗化物材料と第2の弗化物材料とを含み、前記第2の弗化物材料からなる各屈折光学部材のFナンバをF<sub>Ni</sub>とするとき、

$$0.8 < |F_{Ni}|$$

を満足する。

【0014】本発明の投影露光装置の好ましい態様においては、前記狭帯化光源は、前記自然発振時に対する波長幅を半値全幅で1/2以下に狭帯化する。本発明の投影露光装置の好ましい態様においては、前記狭帯化光源にF<sub>2</sub>レーザを用いる。また、本発明の投影露光装置の好ましい態様においては、前記狭帯化光源は、自然発振時に対して狭帯化された光を発振する発振器と、前記発振器からの前記光の出力を增幅させる増幅器とを有する。本発明の投影露光装置の好ましい態様においては、前記狭帯化光源は、半値全幅で0.3pm以下の波長幅の露光光を供給する。なお、狭帯化光源は、半値全幅で0.2pm以下の波長幅の露光光を供給することがさらに好ましい。

【0015】本発明の投影露光装置の好ましい態様にお

いては、前記少なくとも2種類の弗化物材料は、弗化カルシウム、弗化バリウム、弗化リチウム、弗化マグネシウム、弗化ストロンチウム、リチウム・カルシウム・アルミニウム・フローライド、及びリチウム・ストロンチウム・アルミニウム・フローライドからなるグループから選択された2種類の材料である。

【0016】また、上記課題を解決するために、本発明に係る投影露光方法は、投影原版に設けられたパターンの像を基板上に投影露光する投影露光方法であって、上記記載の投影露光装置を用い、前記投影光学系を介して前記パターンの像を前記基板上に形成する。

【0017】

【発明の実施の形態】上述のように、本発明の投影光学系は、少なくとも2種類の弗化物材料からなる屈折光学部材を含み、第1の弗化物材料からなる屈折光学部材の中で最大有効径を有する面の有効径をM<sub>x</sub>1とし、第2の弗化物材料からなる屈折光学部材の中で最大有効径を有する面の有効径をM<sub>x</sub>2とし、M<sub>x</sub>1がM<sub>x</sub>2より大きいとき、

$$20 \quad 0.4 < M_x 2 / M_x 1 < 0.87 \quad (1)$$

を満足する構成をとる。

【0018】かかる構成によれば、投影光学系のレンズ成分として少なくとも2種類の弗化物を用いているため、異なる分散を持つ材料で屈折光学部材が構成されることになり、良好な色収差の補正が実現できる。(1)式は、光学部材の均質性を良くすることが難しく、径の大きなレンズが作りにくいことを考え、光学性能を維持した上でのレンズの有効径を規定したものである。

(1)式の下限を越えると十分な色収差補正が難しく、上限を超えると材料によってはレンズの製造が困難となる。さらに好ましくは下限が0.5、上限が0.84となる。

【0019】なお、上式において、第1の弗化物材料を弗化カルシウム、第2の弗化物材料を弗化バリウムとすることが好ましい。弗化カルシウムおよび弗化バリウムはF<sub>2</sub>レーザを光源とした際に、色収差補正効果があり、十分な透過率が期待できる材料である。弗化バリウムは高い均質性を得ることが難しく、大径レンズを製造することが困難な材料であるため、より小径のレンズに弗化バリウムを用いて色収差補正を行うことが好ましい。これより、製造が容易になり、高コスト化を抑制できる。

【0020】また、前記屈折型の投影光学系は、正レンズ成分と負レンズ成分とを含み、前記正レンズ成分は前記第1の弗化物材料で形成され、前記負レンズ成分は前記第2の弗化物材料で形成されることが好ましい。これより異なる分散を持つ材料で正レンズ成分と負レンズ成分とを形成することができ、より良好な色収差の補正が実現できる。また、一般に色収差補正上、分散が小さい材料を正レンズ成分に用い、分散が大きい材料を負レン

ズ成分に用いることが好ましい。この点から、弗化カルシウム及び弗化バリウムを使用材料とする時は、正レンズ成分を弗化カルシウム、負レンズ成分を弗化バリウムで構成することが好ましく、これより、第1の弗化物材料を弗化カルシウム、第2の弗化物材料を弗化バリウムで構成することが好ましい。この第1、第2弗化物材料に対する弗化カルシウム、弗化バリウムの振り分けは、上述の(1)式を考慮した時のものと一致している。すなわち、第1の弗化物材料を弗化カルシウム、第2の弗化物材料を弗化バリウムとして、上記の条件を満たすよう構成することで、製造上も、また色収差補正上も良好な効果が得られる。

【0021】また、前記屈折型の投影光学系中の全てのレンズ成分は、前記少なくとも2種類の弗化物で形成されることが好ましい。弗化物は波長が200nm以下の光に対して十分な透過率を有するので、投影光学系中の屈折光学部材の露光光の吸収を実質上影響がない程度に低減できる。また、合成石英をレンズ材料とした場合には、露光光の吸収による照射変動の発生が見られるが、弗化物を材料とすれば、このようなことは回避できる。そして、これらのことより、F<sub>2</sub>レーザに対応可能な色収差が補正された光学系を実現できる。また、上記屈折型の投影光学系において、第2の弗化物材料からなる各屈折光学部材のFナンバをFN<sub>i</sub>とするとき、

$$0.8 < |FN_i| \quad (2)$$

を満足することが好ましい。ここで、屈折光学部材のFナンバFN<sub>i</sub>とは、当該屈折光学部材の焦点距離をf<sub>i</sub>とし、当該屈折光学部材の有効径(直径)をCL<sub>i</sub>とするとき、

$$FN_i = f_i / CL_i$$

で表される。上記(2)式は、色収差補正と安定した良像の形成とを両立させるためのものである。ここで、色収差補正を行うためには、第2の弗化物材料からなる屈折光学部材を負レンズとする。そして、当該負レンズのFナンバを小さく(明るく)することによって色収差補正の効果を大きくすることができますが、上記(2)式の範囲を超えてFナンバを小さくすると、当該屈折光学部材が偏心したときの収差変動が大きくなり、安定した良像を得ることが困難となるため好ましくない。なお、さらに安定した良像を得るために、上記(2)式の境界値を0.9に設定することが好ましい。

【0022】また、本発明の投影露光装置は、投影原版に設けられたパターンの像を基板上に投影露光する投影露光装置であって、露光光を供給する光源と、前記露光光を前記投影原版へ導く照明光学系と、上記記載の投影光学系と、を有し、前記第1面に前記投影原版を配置可能とし、前記第2面に前記基板を配置可能とする構成をとる。上述のように良好に色収差補正された投影光学系を有する投影露光装置によって、極微細の投影原版のパターンの像を基板上に高解像に投影露光することができ

る。

【0023】また、本発明の投影露光装置は、投影原版に設けられたパターンの像を基板上に投影露光する投影露光装置であって、自然発振時に対して狭帯化された露光光を供給する狭帯化光源と、前記狭帯化された露光光を前記投影原版へ導く照明光学系と、前記投影原版からの露光光に基づいて前記パターンの像を前記基板上に結像する投影光学系と、を有し、前記投影光学系は、少なくとも2種類の弗化物材料からなる屈折光学部材を含む構成をとる。

【0024】投影光学系が少なくとも2種類の弗化物材料からなる屈折光学部材を含むため、良好に色収差補正できる。さらに、狭帯化された露光光を用いることにより、よりいっそう高い色収差補正効果が得られる。これにより、極微細の投影原版のパターンの像を基板上により高解像に投影露光することができる。投影光学系には、例えば、上述の本発明の投影光学系を適用することができる。

【0025】ここで、前記狭帯化光源は、前記自然発振時に対する波長幅を半値全幅で1/2以下に狭帯化することが好ましい。これにより、色収差補正のために使用される材料、例えば弗化バリウムの使用量を少なくしても、十分な色収差補正効果を得ることができる。よって、高コスト化を招くことなく、良好に色収差補正された投影露光装置を実現できる。また、前記狭帯化光源にF<sub>2</sub>レーザを用いることが好ましい。波長の短いF<sub>2</sub>レーザを光源に用いることにより、高解像にパターンの像を基板上に結像することができる。

【0026】また、前記狭帯化光源は、自然発振時に対して狭帯化された光を発振する発振器と、前記発振器からの前記光の出力を增幅させる増幅器とを有することが好ましい。狭帯化の際に光の出力が低下しても、増幅器を用いて光を増幅することにより実用的な光出力を得ることができる。増幅手段としては後で詳述するようにMOPA(Master Oscillator and Power Amplifiers)方式や特開2001-24265に開示されているインジェクションロック方式等の公知技術を用いることができる。

【0027】また、前記狭帯化光源は、半値全幅で0.3pm以下の波長幅の露光光を供給することが好ましい。なお、前記狭帯化光源は、半値全幅で0.2pm以下の波長幅の露光光を供給することがさらに好ましい。狭帯化を進めることにより、色収差補正効果が向上し、より高解像にパターンの像を形成することができる。

【0028】また、本発明の露光方法は、投影原版に設けられたパターンの像を基板上に投影露光する投影露光方法であって、上記記載の投影露光装置を用い、前記投影光学系を介して前記パターンの像を前記基板上に形成する。これにより、微細なパターンを良好に基板上に形成することができる。

【0029】以下、図面に基づいて本発明の実施の形態を詳細に説明する。図1～図3は本発明の第1～第3の実施の形態に係る投影光学系PLの光路図である。図1～図3に示す投影光学系は、第1面としてのレチクルR上のパターン像の縮小像を第2面としてのウェハW上に投影する屈折型の投影光学系であり、内部に開口絞りASを含む。

【0030】以下は、本発明にかかる投影光学系PLの数値実施例である。

【第1実施例】図1は第1実施例の投影光学系PLの光路図である。本実施例の投影光学系PLは、F<sub>2</sub>レーザが供給する光の波長157.62nmを基準波長としたものであり、基準波長に対してFWHM (full width at half maximum, 半値全幅) 0.25pmの範囲で色収差補正を行っているものである。投影光学系PLは全部で23枚のレンズL101～L123を有し、全てのレンズが弗化物材料で形成されている。光路図に示すように、投影光学系PLは第1面と第2面との中間部近傍で光線高が顕著に低くなり、レンズの有効径が小さくなる傾向を有し、この部分に配置された4枚の負レンズL109, L110, L111, L113は弗化バリウム(BaF<sub>2</sub>)で形成されている。そして、これら負レンズの間に位置する正レンズL112、及びその他のレンズは弗化カルシウム(CaF<sub>2</sub>)で形成されている。

【0031】第1実施例にかかる投影光学系PLの諸元値を表1に示す。表1において、NAはウェハW側の開口数、 $\phi$ はウェハW面上でのイメージサークルの直径、 $\beta$ は投影光学系全体の倍率、d0は第1面(レチクル面)から最も第1面側の光学面までの距離、WDは最も第2面(ウェハ面)側の光学面から第2面までの距離を示す。表1のレンズ番号は図1に示したレンズL101～L123に対応する。表1は、左列から順にレンズ番号、各レンズの前面の曲率半径、後面の曲率半径、光軸上間隔、材料を示す。ここで、各レンズのレチクルR側に向いた面を前面、ウェハW側に向いた面を後面としている。前面の曲率半径で正符号のものは凸面、負符号のものは凹面であり、後面の曲率半径で正符号のもの凹面、負符号のものは凸面である。A(1)～A(7)は非球面を意味し、APERTURE STOPは開口絞りを意味する。

【0032】各面の非球面データを表2に示す。非球面は、光軸に垂直な方向の高さをyとし、非球面の頂点における接平面から高さyにおける非球面上の位置までの光軸に沿った距離(サグ量)をZとし、頂点の曲率半径をrとし、円錐係数をKとし、n次の非球面係数をA～Fとしたとき、以下の数式で表される。表2中のCUR V=1/rである。

$$Z = (y^2/r) / [1 + \{1 - (1+K) \cdot y^2/r^2\}^{1/2}] + A \cdot y^4 + B \cdot y^6 + C \cdot y^8 + D \cdot y^{10} + E \cdot y$$

$$^{12} + F \cdot y^{14}$$

ここで、本実施例の諸元値における曲率半径、間隔の単位の一例としてmmを用いることができる。基準波長157.62nmにおける弗化カルシウムの屈折率は1.5593067であり、弗化バリウムの屈折率は1.65669である。本実施例において、弗化カルシウムの1pm当たりの屈折率の変化量である分散dn/dλは-2.606×10<sup>-3</sup>/nmであり、弗化バリウムの1pm当たりの屈折率の変化量である分散dn/dλは-4.376×10<sup>-3</sup>/nmである。なお、1pm当たりの屈折率の変化量である分散dn/dλの値が正であるとは、波長λが長くなるにつれて屈折率nも上昇することを意味し、この分散dn/dλの値が負であるとは、波長λが長くなると屈折率nが低下することを意味する。

【0033】

【表1】

$$NA = 0.845$$

$$\phi = 22.6$$

$$\beta = 1/4$$

$$d0 = 47.6439$$

$$WD = 9.5687$$

レンズ番号	曲率半径		間隔	材料
	前面	後面		
L101	-2380.0509	A(1)	13.6278	CaF2
			26.7024	
L102	-110.0000	4921.0571	13.1129	CaF2
			11.7166	
L103	A(2)	-180.1654	60.0000	CaF2
			1.0000	
L104	2763.8810	-305.5742	40.2373	CaF2
			1.0000	
L105	385.9755	-5893.0378	50.0000	CaF2
			10.0000	
L106	260.0000	634.6682	36.2143	CaF2
			59.0148	
L107	230.7010	962.5981	37.3370	CaF2
			1.0000	
L108	A(3)	1417.9858	41.7394	CaF2
			1.9957	
L109	1636.2819	104.2342	40.4438	BaF2
			34.3830	
L110	A(4)	283.6735	13.0000	BaF2
			86.0001	
L111	-116.5481	-5134.1160	42.0000	BaF2
			1.0000	
L112	2326.7317	-136.1195	50.0000	CaF2
			1.0000	
L113	-148.1207	A(5)	18.0000	BaF2
			1.0000	
L114	486.1850	-290.6419	48.9746	CaF2
			1.0000	
L115	A(6)	-340.4681	25.8916	CaF2
			4.2050	
L116	623.2663	-625.1668	38.9421	CaF2
			6.6653	
	APERTURE STOP			
L117	832.1960	-336.2637	37.7977	CaF2
			50.8672	
L118	-240.4745	-411.3028	13.0123	
			28.0000	CaF2
L119	2382.1181	-569.5006	1.0000	
			46.7518	CaF2
L120	491.6164	$\infty$	1.0000	
			30.2350	CaF2
L121	141.6068	A(7)	1.0000	
			40.8667	CaF2
L122	204.7140	736.2331	1.0000	
			35.0066	CaF2
L123	105724.5915	5041.4655	3.9920	
			49.2429	CaF2

【0034】

【表2】

面番号	CURV C	K D	(7)		12
			A E	B F	
A( 1)	0.00582249 -3.82324E-16	0.000000 -3.15101E-20	-2.25213E-07 1.60874E-23	8.54919E-12 -1.69016E-27	
A( 2)	-0.00366745 1.78167E-17	0.000000 -4.58342E-22	2.68956E-08 3.21583E-25	-3.37112E-13 9.53761E-30	
A( 3)	0.00654852 -5.61817E-17	0.000000 -2.72147E-21	-2.51687E-08 -5.27629E-26	-1.08919E-12 -8.03358E-30	
A( 4)	-0.00588534 2.26212E-18	0.000000 1.31053E-20	3.89418E-08 -2.44777E-24	5.78717E-12 3.24750E-28	
A( 5)	0.00076603 -1.75786E-17	0.000000 5.50364E-22	3.00381E-08 -2.07928E-27	-1.09620E-13 1.60157E-31	
A( 6)	-0.00052122 -8.33925E-18	0.000000 1.08673E-22	-2.43407E-08 -7.98530E-27	5.96396E-14 2.37943E-31	
A( 7)	0.00268652 -5.41906E-17	0.000000 -6.50095E-21	-4.48251E-08 6.54955E-25	2.92295E-12 -2.00191E-29	

【0035】条件式対応値は以下のとおりである。

$$Mx\ 2 / Mx\ 1 = 214/272 = 0.787$$

$$|FN_i| = |-171/185| = 0.924 \quad (\text{レンズL109})$$

$$|FN_i| = |-160/126| = 1.270 \quad (\text{レンズL110})$$

$$|FN_i| = |-181/170| = 1.065 \quad (\text{レンズL111})$$

$$|FN_i| = |-202/214| = 0.944 \quad (\text{レンズL113})$$

【0036】図4に、第1実施例の投影光学系の子午方向(TANGENTIAL方向)及び球欠方向(SAGITAL方向)における横収差(コマ収差)を示す。図において、Yは像高を表わし、Y=0, Y=5.65, 及び最大像高のY=11.3, の3つの点における収差を示す。図中、実線は波長157.62nm, 点線は基準波長+0.25pm, 一点鎖線は基準波長-0.25pmでの収差をそれぞれ示している。各収差図より明らかなとおり、本実施例の投影光学系は、像高0から最大像高までの領域において、良好な収差補正がなされ、FWHM 0.25pmという波長範囲において良好に色収差補正が達成されている。

【0037】よって、本実施例によれば、弗化バリウムからなる有効径が小さいレンズを効果的に配置することにより、良好な色収差補正効果が得られると共に、弗化バリウムの使用量を極力少量とすることで、製造コストの抑制という効果も得ることができる。本実施例の投影光学系を露光装置に組み込んだ場合には、極めて微細なパターンをウエハ上に転写することが可能となる。本実施例の投影光学系は直径22.6の円形イメージフィールドを有するので、このイメージフィールド内で例えば走査方向の幅約5, 走査直交方向の幅約22の長方形状の露光領域を確保することが可能である。なお、像高、イメージフィールドの単位は、表1および2において曲率半径、間隔の単位としてmmを採用した場合にはmmである。

【0038】[第2実施例]図2は第2実施例の投影光

30 系PLの光路図である。本実施例の投影光学系PLは、F<sub>2</sub>レーザが供給する光の波長157.62nmを基準波長としたものであり、基準波長に対してFWHM (full width at half maximum, 半値全幅) 0.2pmの範囲で色収差補正を行っているものである。投影光学系PLは全部で25枚の中のレンズL201～L225を有し、全てのレンズが弗化物材料で形成されている。光路図に示すように、投影光学系PLは第1面と第2面との中間部近傍で光線高が顕著に低くなり、レンズの有効径が小さくなる傾向を有し、この部分に配置された5枚の負レンズL211, L212, L213, L214, L216は弗化バリウム(BaF<sub>2</sub>)で形成されている。そして、これら負レンズの間に位置する正レンズL215, 及びその他のレンズは弗化カルシウム(CaF<sub>2</sub>)で形成されている。

40 【0039】第2実施例にかかる投影光学系PLの諸元値を表3に示す。表3のレンズ番号は図2に示したレンズL201～L225に対応する。各面の非球面データを表4に示す。表3, 表4において各記号、各係数の定義は上述の実施例1のものと同じである。ここで、本実施例の諸元値における曲率半径、間隔の単位の一例としてmmを用いることができる。

【0040】

【表3】

NA = 0.845  
 φ = 22.6  
 β = 1/4  
 d 0 = 48.2872  
 WD = 10.2240

\* [0041]  
[表4]

レンズ番号	曲率半径	間隔	材料
	前面	後面	
L201	657.3524	-224.0596	CaF2
		23.8362	
		1.0015	
L202	234.4929	A(1)	CaF2
		16.9691	
		5.1384	
L203	-983.1117	188.1002	CaF2
		15.1248	
		16.6472	
L204	-222.6617	A(2)	CaF2
		15.0000	
		35.2367	
L205	-101.9787	-200.0698	CaF2
		18.8802	
		1.3585	
L206	-200.0000	-182.7643	CaF2
		35.6248	
		0.8522	
L207	-20993.7187	-197.8931	CaF2
		52.8709	
		4.6781	
L208	371.5257	-856.4055	CaF2
		52.3778	
		2.2677	
L209	260.0000	-24434.3105	CaF2
L210	142.5276	820.9520	CaF2
		52.7398	
		4.4585	
L211	1963.2560	156.7628	BaF2
		15.0914	
		22.1711	
L212	A(3)	102.2461	BaF2
		24.9365	
		36.6848	
L213	-136.8655	701.6293	BaF2
		44.0306	
		21.1006	
L214	-248.2828	A(4)	BaF2
		24.2178	
		1.1184	
L215	877.4376	-128.5042	CaF2
		66.6143	
		2.2257	
L216	-142.4514	A(5)	BaF2
		15.3602	
		8.5287	
L217	1531.1611	-323.8663	CaF2
		37.2959	
		1.0000	
L218	650.2450	-294.6130	CaF2
		57.2798	
		5.4385	
APERTURE STOP			
		13.0000	
L219	830.6787	-293.4513	CaF2
		55.5622	
		5.3586	
L220	-261.8784	-559.8408	CaF2
		25.4887	
		24.3154	
L221	428.7719	3466.1346	CaF2
		40.0000	
		0.8496	
L222	310.6772	2055.0720	CaF2
		40.0000	
		1.5857	
L223	210.6081	A(6)	CaF2
		28.0301	
		13.6556	
L224	126.5438	802.7699	CaF2
		42.5905	
		3.8617	
L225	∞	∞	CaF2
		60.0000	

\*

面番号	CURV C	K D	A	B
			E	F
A(1)	0.00200000 5.91607E-17	0.000000 3.16405E-20	-8.79898E-08 -7.36952E-24	3.59244E-12 8.11124E-28
A(2)	0.00688622 1.54804E-16	0.000000 -4.19179E-20	-8.95806E-08 3.12122E-24	-2.30112E-12 -9.01202E-29
A(3)	0.00075022 -1.04523E-16	0.000000 -2.45661E-20	-2.62649E-08 2.52084E-24	4.38764E-12 -1.05467E-28
A(4)	-0.00140493 -1.28836E-17	0.000000 -5.92171E-21	3.27267E-08 -4.93099E-25	2.85388E-12 2.53467E-29
A(5)	0.00125642 4.74856E-18	0.000000 1.36631E-21	3.76371E-08 -6.65549E-26	-1.21844E-12 1.27013E-30
A(6)	0.00285442 7.45799E-18	0.000000 -1.10623E-21	-2.65725E-08 4.73185E-26	8.98623E-13 -2.48824E-31

【0042】条件式対応値は以下のとおりである。

$$Mx2/Mx1 = 218.6/272.4 = 0.802$$

$$\begin{aligned}
 |FN_i| &= |-260/192| = 1.354 & (\text{レンズL211}) \\
 |FN_i| &= |-170/152| = 1.118 & (\text{レンズL212}) \\
 |FN_i| &= |-171/142| = 1.204 & (\text{レンズL213}) \\
 |FN_i| &= |-593/168| = 3.530 & (\text{レンズL214}) \\
 |FN_i| &= |-183/219| = 0.836 & (\text{レンズL216})
 \end{aligned}$$

【0043】図5に、第2実施例の投影光学系の子午方向(TANGENTIAL方向)及び球欠方向(SAGITAL方向)における横収差(コマ収差)を示す。図において、Yは像高を表わし、Y=0, Y=5.65, 及び最大像高のY=11.3, の3つの点における収差を示す。図中、実線は基準波長157.62nm, 点線は基準波長+0.2pm, 一点鎖線は基準波長-0.2pmでの収差をそれぞれ示している。各収差図より明らかなどおり、本実施例の投影光学系は、像高0から最大像高までの領域において、良好な収差補正がなされ、FWHM 0.2pmという波長範囲において良好に色収差補正が達成されている。

【0044】よって、本実施例によれば、弗化バリウムからなる有効径が小さいレンズを効果的に配置することにより、良好な色収差補正効果が得られると共に、弗化バリウムの使用量を極力少量とすることで、製造コストの抑制という効果も得ることができる。本実施例の投影光学系を露光装置に組み込んだ場合には、極めて微細なパターンをウェハ上に転写することが可能となる。本実施例の投影光学系は直径22.6の円形イメージフィールドを有するので、このイメージフィールド内で例えば走査方向の幅約5, 走査直交方向の幅約22の長方形形状の露光領域を確保することが可能である。なお、像高、イメージフィールドの単位は、表1及び2において曲率半径、間隔の単位としてmmを採用した場合にはmmである。

【0045】[第3実施例]図3は第3実施例の投影光学系PLの光路図である。本実施例の投影光学系PLは、F<sub>2</sub>レーザが供給する光の波長157.62nmを基準波長としたものであり、基準波長に対してFWHM (full width at half maximum, 半値全幅) 0.25pmの範囲で色収差補正を行っているものである。投影光学系PLは全部で26枚のレンズL301～L326を有し、全てのレンズが弗化物材料で形成されている。光路図に示すように、投影光学系PLは第1面と第2面との中間部近傍で光線高が顕著に低くなり、レンズの有効径が小さくなる傾向を有し、この部分に配置された5枚の負レンズL311, L312, L313, L315, L317は弗化バリウム(BaF<sub>2</sub>)で形成されている。そして、これら負レンズの間に位置する正レンズL314, L316及び他のレンズは弗化カルシウム(CaF<sub>2</sub>)で形成されている。

【0046】第3実施例にかかる投影光学系PLの諸元値を表5に示す。表5のレンズ番号は図3に示したレンズL301～L326に対応する。各面の非球面データを表6に示す。表5, 表6において各記号、各係数の定義は上述の実施例1のものと同じである。ここで、本実施例の諸元値における曲率半径、間隔の単位の一例としてmmを用いることができる。

【0047】

【表5】

$N_A = 0.845$   
 $d = 22.6$   
 $\rho = 1/5$   
 $d_0 = 50.2925$   
 $WD = 10.2171$

20	レンズ番号	曲率半径		間隔	材料
		前面	後面		
L301	357.2634	-297.0401	26.1490	1.0000	CaF2
L302	170.9503	A(1)	36.7291	16.5962	CaF2
L303	-5884.0982	188.4076	15.0578	17.0132	CaF2
L304	-252.9808	A(2)	15.0000	30.0542	CaF2
L305	-101.9787	2235.5421	15.0008	7.2133	CaF2
L306	-888.0078	-147.4825	43.9491	0.8522	CaF2
L307	∞	-393.4393	31.3308	1.0000	CaF2
L308	511.4890	-478.6698	56.8868	2.1082	CaF2
L309	260.0000	-7410.4184	52.3298	1.0290	CaF2
L310	211.4801	1920.5993	45.7849	36.5835	CaF2
L311	-577.1751	269.2934	15.6991	46.1373	BaF2
L312	A(3)	113.0584	15.8970	36.9886	BaF2
L313	-127.5608	1066.9193	38.2620	1.0000	BaF2
L314	471.2885	-141.8041	50.4185	1.3036	CaF2
L315	-178.9088	A(4)	15.0000	1.6457	BaF2
L316	351.0282	-193.2869	56.7679	1.0000	CaF2
L317	-205.3851	A(5)	15.0000	7.1378	BaF2
L318	3325.8738	-322.1797	38.0140	1.0000	CaF2
L319	504.0637	-423.6964	55.6961	14.0032	CaF2
				APERTURE STOP	
L320	385.1400	-385.3907	66.9711	5.7650	CaF2
L321	-315.6866	-875.1589	25.4887	7.9214	CaF2
L322	465.5962	934.4138	40.0000	0.8496	CaF2
L323	448.1143	12656.8130	40.0000	1.1935	CaF2
L324	176.8246	A(6)	30.8124	26.2792	CaF2
L325	121.3988	982.8938	34.7695	3.0968	CaF2
L326	39919.3642	∞	55.7444	CaF2	

【0048】

【表6】

面番号	CURV	K D	(10)		18
			A E	B F	
A(1)	0.00887571 -2.24825E-16	0.000000 1.47901E-20	-5.07110E-08 -7.36141E-24	-2.69841E-12 5.28193E-28	
A(2)	0.00380595 -6.53846E-17	0.000000 -2.08968E-21	-1.17125E-07 1.13000E-24	2.02206E-12 -5.82303E-29	
A(3)	-0.00010672 3.79243E-18	0.000000 3.75671E-21	-5.85730E-09 -3.64391E-25	2.11397E-13 1.20656E-29	
A(4)	0.00325980 3.31023E-18	0.000000 -1.51389E-23	-9.53171E-09 -1.55302E-26	-5.91081E-13 1.56823E-31	
A(5)	0.00034626 -3.21560E-18	0.000000 -2.49671E-23	3.09397E-08 3.23333E-27	1.11371E-13 -4.87033E-32	
A(6)	0.00326706 8.08155E-18	0.000000 -1.03227E-21	-2.19448E-08 7.60326E-26	1.00259E-12 -1.04190E-30	

【0049】条件式対応値は以下のとおりである。

$$Mx2/Mx1 = 199.4/284.6 = 0.701$$

$$FNi = |-278/183| = 1.519 \quad (\text{レンズL311})$$

$$FNi = |-170/139| = 1.223 \quad (\text{レンズL312})$$

$$FNi = |-171/161| = 1.062 \quad (\text{レンズL313})$$

$$FNi = |-170/199| = 0.854 \quad (\text{レンズL315})$$

$$FNi = |-293/234| = 1.252 \quad (\text{レンズL317})$$

【0050】図6に、第3実施例の投影光学系の子午方向(TANGENTIAL方向)及び球欠方向(SAGITAL方向)における横収差(コマ収差)を示す。図において、Yは像高を表わし、Y=0, Y=5.65, 及び最大像高のY=11.3, の3つの点における収差を示す。図中、実線は基準波長157.62nm, 点線は基準波長+0.25pm, 一点鎖線は基準波長-0.25pmでの収差をそれぞれ示している。各収差図より明らかなとおり、本実施例の投影光学系は、像高0から最大像高までの領域において、良好な収差補正がなされ、FWHM 0.25pmという波長範囲において良好に色収差補正が達成されている。

【0051】よって、本実施例によれば、弗化バリウムからなる有効径が小さいレンズを効果的に配置することにより、良好な色収差補正効果が得られると共に、弗化バリウムの使用量を極力少量とすることで、製造コストの抑制という効果も得ることができる。本実施例の投影光学系を露光装置に組み込んだ場合には、極めて微細なパターンをウエハ上に転写することが可能となる。本実施例の投影光学系は直徑22.6の円形イメージフィールドを有するので、このイメージフィールド内で例えば走査方向の幅約5, 走査直交方向の幅約22の長方形形状の露光領域を確保することが可能である。なお、像高、イメージフィールドの単位は、表1及び2において曲率半径、間隔の単位としてmmを採用した場合にはmmである。

【0052】上記第1乃至第3の実施例の投影光学系P

17  
Lは、図7に示す実施形態の投影露光装置に適用することができる。以下、図7を参照して、本発明にかかる露光装置の実施の形態について説明する。図7は、実施形態にかかる投影露光装置の概略構成を示す図である。図7においてはXYZ座標系を採用している。ウエハWの法線方向に沿ってZ軸を、ウエハW面内において図7の紙面に平行な方向にY軸を、ウエハW面内において図7の紙面に垂直な方向にX軸をそれぞれ設定している。

20  
【0053】実施形態にかかる露光装置は、露光光源としてF<sub>2</sub>レーザ光源を使用し、上記第1乃至第3実施例の何れか1つの屈折型投影光学系を投影光学系PLとして使用して、本発明を適用したものである。本実施形態の投影露光装置では、レチクル上の所定形状の照明領域に対して相対的に所定の方向へレチクル及び基板を同期して走査することにより、基板上の1つのショット領域にレチクルのパターン像を逐次的に転写するステップ・アンド・スキャン方式を採用している。このようなステップ・アンド・スキャン型の露光装置では、投影光学系の露光フィールドよりも広い基板上の領域にレチクルのパターンを露光することができる。

30  
【0054】図7において、レーザ光源2は、例えばフッ素ダイマーレーザ(F<sub>2</sub>レーザ)に狭帯化装置および増幅装置を組み合わせたものを有する。F<sub>2</sub>レーザは、自然発振で0.6~1pm程度の半値全幅である。ここで、狭帯化は、例えばMOPA方式やインジェクションロック方式等の公知技術により行うことができる。

40  
【0055】図8は、本発明の実施形態の光源として使用可能なMOPA(Master Oscillator and Power Amplifiers)方式のレーザ光源の概略構成図である。図8において、レーザ光源2は、狭帯化されたレーザ光を発生させるレーザ発振器100と、レーザ発振器100に連結されてレーザ発振器100からのレーザ光を増幅する増幅器102とを有する。ここで、レーザ発振器100は、レーザチャ

ンバ110と、レーザチャンバ110の出力端側に配置された出力鏡112と、アーチャ114と、波長選択素子としてのプリズム116及び回折格子118とを有する。また、増幅器102は、レーザチャンバ120を有する。

【0056】レーザ発振器100においてレーザ光は、出力鏡と回折格子116との間の光路をアーチャ114を介して少なくとも1往復し、その後、例えば0.2～0.3pm程度の半值全幅を有するように狭帯化されて、レーザ発振器100から射出される。狭帯化されたレーザ光は、レーザチャンバ120内へ入力され、レーザチャンバ120を通過する際に増幅されて、増幅器102から射出される。図に示すレーザ光源では、発振バルスタイミング制御部103によって、レーザ発振器100と増幅器102との発振タイミングが制御されている。なお、図8に示した例では、1組の増幅器を使用したが、複数組の増幅器をレーザ発振器100の出力側に直列的に連結する構成であっても良い。

【0057】図9は、本発明の別の実施形態の光源として使用可能なインジェクション・ロッキング方式のレーザ光源2の概略構成図である。図9において、レーザ光源2は、狭帯化されたレーザ光を発生させるレーザ発振器100と、レーザ発振器100に連結されてレーザ発振器100からのレーザ光を増幅する増幅器102とを有する。ここで、レーザ発振器100は、レーザチャンバ110と、レーザチャンバ110の出力端側に配置された出力鏡112と、アーチャ114と、波長選択素子としてのプリズム116及び回折格子118とを有する。また、増幅器102は、凸面鏡122、レーザチャンバ120及びカップリングホール126が形成された凹面鏡124を有する。

【0058】レーザ発振器100においてレーザ光は、出力鏡112と回折格子118との間の光路をアーチャ114を介して少なくとも1往復し、その後、例えば0.2～0.3pm程度の半值全幅を有するように狭帯化されて、レーザ発振器100から射出される。狭帯化されたレーザ光は、凹面鏡124のカップリングホール126を介してレーザチャンバ120内へ入力され、凸面鏡122及び凹面鏡124の間を往復する間に増幅されて、この増幅器から射出される。図に示すレーザ光源2では、発振バルスタイミング制御部103によって、レーザ発振器100と増幅器102との発振タイミングが制御されている。なお、このようなインジェクション・ロッキング方式のF<sub>2</sub>レーザ光源は、例えば特開2001-24265号公報や特開2000-357836号公報などに開示されている。

【0059】上記のような光源を用いることにより、狭帯化の進んだ露光光を供給することができ、高解像にパターンの像を形成することができる。また、上記のように増幅器を有する併設することにより、狭帯化の際に光

の出力が低下しても、常に実用的な光出力を供給できる。なお、本実施形態におけるレーザ光源2としては、波長約120nm～約180nmの真空紫外域に属する光を発する光源、例えば発振波長146nmのクリプトンダイマーレーザ(Kr<sub>2</sub>レーザ)や、発振波長126nmのアルゴンダイマーレーザ(Ar<sub>2</sub>レーザ)などを用いることができる。

【0060】再び図7を参照すると、レーザ光源2からのパルスレーザ光(照明光)は、偏向ミラー3にて偏向されて、光路遅延光学系41へ向かい、レーザ光源2からの照明光の時間的可干渉距離(コヒーレンス長)以上の光路長差が付けられた時間的に複数の光束に分割される。なお、このような光路遅延光学系は例えば特開平1-198759号公報や特開平11-174365号に開示されている。

【0061】光路遅延光学系41から射出される照明光は、光路偏向ミラー42にて偏向された後に、第1フライアイレンズ43、ズームレンズ44、振動ミラー45を順に介して第2フライアイレンズ46に達する。第2フライアイレンズ46の射出側には、有効光源のサイズ・形状を所望に設定するための照明光学系開口絞り用の切り替えレボルバ5が配置されている。本例では、照明光学系開口絞りでの光量損失を低減するために、ズームレンズ44による第2フライアイレンズ46への光束の大きさを可変している。

【0062】照明光学系開口絞りの開口から射出した光束は、コンデンサレンズ群10を介して照明視野絞り(レチクルブラインド)11を照明する。なお、照明視野絞り11については、特開平4-196513号公報及びこれに対応する米国特許第5,473,410号公報に開示されている。

【0063】照明視野絞り11からの光は、偏向ミラー151、154、レンズ群152、153、155からなる照明視野絞り結像光学系(レチクルブラインド結像系)を介してレチクルR上へ導かれ、レチクルR上には、照明視野絞り10の開口部の像である照明領域が形成される。レチクルR上の照明領域からの光は、投影光学系PLを介してウエハW上へ導かれ、ウエハW上には、レチクルRの照明領域内のパターンの縮小像が形成される。レチクルRを保持するレチクルステージRSはXY平面内で二次元的に移動可能であり、その位置座標は干渉計19によって計測されかつ位置制御される。また、ウエハWを保持するウエハステージ22もXY平面内で二次元的に移動可能であり、その位置座標は干渉計24によって計測されかつ位置制御される。これらにより、レチクル及び基板を高精度に同期走査させることが可能になる。

【0064】さて、真空紫外域の波長の光を露光光とする場合には、その光路から酸素、水蒸気、炭化水素系のガス等の、かかる波長域の光に対し強い吸収特性を有

するガス（以下、適宜「吸収性ガス」と呼ぶ）を排除する必要がある。従って、本実施形態では、照明光路（レーザ光源2～レチクルRへ至る光路）及び投影光路（レチクルR～ウエハWへ至る光路）を外部雰囲気から遮断し、それらの光路を真空紫外域の光に対する吸収の少ない特性を有する特定ガスとしての窒素、ヘリウム、アルゴン、ネオン、クリプトンなどのガス、またはそれらの混合ガス（以下、適宜「低吸収性ガス」あるいは「特定ガス」と呼ぶ）で満たしている。

【0065】具体的には、レーザ光源2から光遅延光学系41までの光路をケーシング30により外部雰囲気より遮断し、光遅延光学系41から照明視野絞り11までの光路をケーシング40により外部雰囲気より遮断し、照明視野絞り結像光学系をケーシング150により外部雰囲気から遮断し、それらの光路内に上記特定ガスを充填している。ケーシング40とケーシング150はケーシング49により接続されている。また、投影光学系PL自身もその鏡筒がケーシングとなっており、その内部光路に上記特定ガスを充填している。

【0066】なお、各光路に充填される特定ガスとしては、ヘリウムを用いることが好ましい。但し、レーザ光源2～レチクルRまでの照明光学系の光路（ケーシング30、40、150）については特定ガスとして窒素を用いても良い。

【0067】ケーシング170は、照明視野絞り結像光学系を納めたケーシング150と投影光学系PLとの間の空間を外部雰囲気から遮断しており、その内部にレチクルRを保持するレチクルステージRSを収納している。このケーシング170には、レチクルRを搬入・搬出するための扉173が設けられており、この扉173の外側には、レチクルRを搬入・搬出時にケーシング170内の雰囲気が汚染されるのを防ぐためのガス置換室174が設けられている。このガス置換室174にも扉177が設けられており、複数種のレチクルを保管しているレチクルストッカ210との間のレチクルの受け渡しは扉177を介して行う。

【0068】ケーシング200は、投影光学系PLとウエハWとの間の空間を外部雰囲気から遮断しており、その内部に、ウエハWを保持するウエハステージ22、基板としてのウエハWの表面のZ方向の位置（フォーカス位置）や傾斜角を検出するための斜入射形式のオートフォーカスセンサ26、オフ・アクシス方式のアライメントセンサ28、ウエハステージ22を載置している定盤23を収納している。このケーシング200には、ウエハWを搬入・搬出するための扉203が設けられており、この扉203の外側にはケーシング200内部の雰囲気が汚染されるのを防ぐためのガス置換室204が設けられている。このガス置換室204には扉207が設けられており、装置内部へのウエハWの搬入、装置外部へのウエハWの搬出はこの扉207を介して行う。

【0069】ここで、ケーシング40、150、170、200のそれぞれには、給気弁147、156、171、201が設けられており、これらの給気弁147、156、171、201は図示なきガス供給装置に接続された給気管路に接続されている。また、ケーシング40、150、170、200のそれぞれには、排気弁148、157、172、202が設けられており、これらの排気弁148、157、172、202は、それぞれ図示なき排気管路を介して上記ガス供給装置に接続されている。なお、ガス供給装置からの特定ガスは不図示の温度調整装置により所定の目標温度に制御されている。ここで、特定ガスとしてヘリウムを用いる場合には、温度調整装置は各ケーシングの近傍に配置されることが好ましい。

【0070】同様に、ガス置換室174、204にも給気弁175、205と排気弁176、206とが設けられており、給気弁175、205は給気管路を介して、排気弁176、206は排気管路を介してそれぞれ上記ガス供給装置に接続されている。さらに、投影光学系PLの鏡筒にも給気弁181及び排気弁182が設けられており、給気弁181は図示なき給気管路を介して、排気弁182は図示なき排気管路を介して上記ガス供給装置に接続されている。

【0071】なお、給気弁147、156、171、175、181、201、205が設けられた給気管路と、排気弁148、157、172、176、182、202、206が設けられた排気管路とには、HEPAフィルタあるいはULPAフィルタ等の塵（パーティクル）を除去するためのフィルタと、酸素等の吸収性ガスを除去するケミカルフィルタとが設けられている。

【0072】なお、ガス置換室174、204においては、レチクル交換又はウエハ交換毎にガス置換を行う必要がある。例えば、レチクル交換の際には、扉174を開いてレチクルストッカ210からレチクルをガス置換室174内に搬入し、扉174を閉めてガス置換室174内を特定ガスで満たし、その後、扉173を開いて、レチクルをレチクルステージRS上に載置する。また、ウエハ交換の際には、扉207を開いてウエハをガス置換室204内に搬入し、この扉207を締めてガス置換室204内を特定ガスで満たす。その後、扉203を開いてウエハをウエハホルダ20上に載置する。なお、レチクル搬出、ウエハ搬出の場合はこの逆の手順である。なお、ガス置換室174、204へのガス置換の際にには、ガス置換室内の雰囲気を減圧した後に、給気弁から特定ガスを供給しても良い。

【0073】また、ケーシング170、200においては、ガス置換室174、204によるガス置換を行った気体が混入する可能性があり、このガス置換室174、204のガス中にはかなりの量の酸素などの吸収ガスが混入している可能性が高いため、ガス置換室174、2

04のガス置換と同じタイミングでガス置換を行うことが望ましい。また、ケーシング及びガス置換室においては、外部雰囲気の圧力よりも高い圧力の特定ガスを充填しておくことが好ましい。

【0074】また、図7では不図示ではあるが、本実施形態では、投影光学系PLを構成する複数のレンズ素子のうちの少なくとも1つのレンズ素子は、その位置及び姿勢の少なくとも一方が変更可能であるように保持されている。これにより、投影光学系PLの結像特性を変更可能である。このような調整手段は、例えば特開平4-192317号公報、特開平4-127514号公報（及び対応する米国特許第5, 117, 255号公報）、特開平5-41344号公報、及び特開平6-84527号公報（及び対応する米国特許第5, 424, 552号公報）に開示されている。本実施形態においては、位置及び姿勢の少なくとも一方が変更可能なレンズ素子のうちの少なくとも1つは、球面レンズであることが好ましい。

【0075】次に、上記の実施の形態の投影露光装置を用いてウエハ上に所定の回路パターンを形成することによって、マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の動作の一例につき図10のフローチャートを参照して説明する。先ず、図10のステップ301において、1ロットのウエハ上に金属膜が蒸着される。次のステップ302において、その1ロットのウエハ上の金属膜上にフォトレジストが塗布される。その後、ステップ303において、第1乃至第4実施例のうち何れかの投影光学系PLを備えた図7の投影露光装置を用いて、レチクルR上のパターンの像がその投影光学系PLを介して、その1ロットのウエハ上の各ショット領域に順次露光転写される。

【0076】その後、ステップ304において、その1ロットのウエハ上のフォトレジストの現像が行われた後、ステップ305において、その1ロットのウエハ上でレジストパターンをマスクとしてエッチングを行うことによって、レチクルR上のパターンに対応する回路パターンが、各ウエハ上の各ショット領域に形成される。その後、更に上のレイヤの回路パターンの形成等を行うことによって、半導体素子等のデバイスが製造される。上述の半導体デバイス製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する半導体デバイスをスループット良く得ることができる。

【0077】また、上記の実施の形態の投影露光装置では、プレート（ガラス基板）上に所定の回路パターンを形成することによって、マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得ることもできる。以下、図11のフローチャートを参照して、このときの動作の一例につき図11のフローチャートを参照して説明する。

【0078】図11において、パターン形成工程401では、本実施形態の露光装置を用いてレチクルのパター

ンを感光性基板（レジストが塗布されたガラス基板等）に転写露光する、所謂光リソグラフィー工程が実行される。この光リソグラフィー工程によって、感光性基板上には多数の電極等を含む所定パターンが形成される。その後、露光された基板は、現像工程、エッチング工程、レチクル剥離工程等の各工程を経ることによって、基板上に所定のパターンが形成され、次のカラーフィルター形成工程402へ移行する。

【0079】次に、カラーフィルター形成工程402では、R（Red）、G（Green）、B（Blue）に対応した3つのドットの組がマトリックス状に多数配列されたカラーフィルターを形成する。そして、カラーフィルター形成工程402の後に、セル組み立て工程403が実行される。

【0080】セル組み立て工程403では、パターン形成工程401にて得られた所定パターンを有する基板、およびカラーフィルター形成工程402にて得られたカラーフィルター等を用いて液晶パネル（液晶セル）を組み立てる。セル組み立て工程403では、例えば、パターン形成工程401にて得られた所定パターンを有する基板とカラーフィルター形成工程402にて得られたカラーフィルターとの間に液晶を注入して、液晶パネル（液晶セル）を製造する。

【0081】その後、モジュール組み立て工程404にて、組み立てられた液晶パネル（液晶セル）の表示動作を行わせる電気回路、バックライト等の各部品を取り付けて液晶表示素子として完成させる。上述の液晶表示素子製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する液晶表示素子をスループット良く得ることができる。

【0082】さて、上記図7の実施形態では、照明光学系中のオプティカルインテグレータ（ユニフォマイザ、ホモジナイザ）としてフライアイレンズ43, 46を用いているが、1枚の基板の上に複数のレンズ面をエッチング等の手法により形成したマイクロフライアイレンズを用いても良い。また、第1フライアイレンズ43の代わりに、回折作用により入射光を発散させてそのファーフィールド（ラウンドホール回折領域）において円形状、輪帯状、多重極状の照野を形成する回折光学素子を用いても良い。なお、このような回折光学素子としては例えば米国特許第5, 850, 300号に開示されているものを用いることができる。ここで、回折光学素子を用いる場合には、光路遮断光学系41を省略しても良い。

【0083】また、オプティカルインテグレータとしては、内面反射型インテグレータ（ロッド・インテグレータ、光パイプ、光トンネルなど）を用いることもできる。このような内面反射型インテグレータを用いる場合には、内面反射型インテグレータの射出面とレチクルのパターン面とがほぼ共役となる。従って、図7の実施形態に適用する場合には、例えば内面反射型インテグレー

タの射出面に近接させて照明視野絞り（レチクルブラインド）11を配置し、第1フライアイレンズ43の射出面と内面反射型インテグレータの入射面とをほぼ共役とするように、ズームレンズ44を構成する。

【0084】また、本実施形態では、投影光学系中のレンズ成分として、弗化カルシウム（CaF<sub>2</sub>、螢石）及び弗化バリウム（BaF<sub>2</sub>）を用いているが、投影光学系中のレンズ成分としては、弗化カルシウム（CaF<sub>2</sub>、螢石）、弗化バリウム（BaF<sub>2</sub>）、弗化リチウム（LiF）、弗化マグネシウム（MgF<sub>2</sub>）、弗化ストロンチウム（SrF<sub>2</sub>）、リチウム・カルシウム・アルミニウム・フローライド（LiCaAlF<sub>6</sub>）、及びリチウム・ストロンチウム・アルミニウム・フローライド（LiSrAlF<sub>6</sub>）からなるグループから選択された少なくとも2種類以上の弗化物材料であることが好ましい。ここで、リチウム・カルシウム・アルミニウム・フローライド、及びリチウム・ストロンチウム・アルミニウム・フローライドは、ライカフ結晶と呼ばれる複合弗化物のうちでクロムやセリウムといった微量元素を添加しないものである。また、上記第1乃至第4実施例の投影光学系PLを構成する各レンズ成分のレンズ面には、反射防止コートが設けられる。ここで、反射防止コートとしては、3層以下、好ましくは、2乃至3層の膜構成であり、入射角範囲は小さいが透過率の高い第1のコートと4層以上の膜構成であり透過率は低いが入射角範囲は大きな第2のコートとを適用できる。反射防止コートをレンズ面に成膜する際に水分を十分に抑えることにより、F<sub>2</sub>レーザーの波長域において、第1のコートでは例えば9.9%程度の透過率、第2のコートでは例えば9.9%の透過率を達成することが可能である。本実施例では、投影光学系PLを構成する各レンズ成分のレンズ面への光線の入射角に応じて上記第1のコートと上記第2のコートとを適切に割り付けることによって（例えば、光線の入射角範囲の狭いレンズ面には第1のコートを割り付け、光線の入射角範囲の広いレンズ面には第2のコートを割り付けることによって）、大きな開口数かつ大きなイメージフィールドであっても、投影光学系のイメージフィールド内における透過率ムラと、投影光学系のイメージフィールドの各点に達する光束の角度内ムラとを低減させている。なお、本実施形態においては、このようなコート割付を投影光学系のみならず照明光学系においても行っている。

【0085】また、図7の実施形態において、第1フライアイレンズ43の入射側に、スペックル防止のための複屈折性材料からなるプリズムを配置しても良い。このようなスペックル防止用のプリズムとしては、例えば米国特許第5,253,110号に開示されている。なお、露光波長として180nm以下の波長の光を用いる場合、米国特許第5,253,110号に開示されている水晶プリズムに代えて、弗化マグネシウム（Mg

F<sub>2</sub>）の結晶からなるプリズムを用いることができる。

【0086】この弗化マグネシウムの結晶からなるくさび型プリズムは、照明光学系の光軸に交差する方向で厚さが次第に変化するように配置される。そして、この弗化マグネシウムの結晶からなるくさび型プリズムに対向して、それらの頂角が互いに反対側を向くように光路補正用くさび型プリズムを配置する。この光路補正用くさび型プリズムは、当該弗化マグネシウムの結晶からなるプリズムと同じ頂角を有し、複屈折性を有しない光透過性材料からなる。これにより、プリズムの対に入射した光と、そこから射出する光とを同一進行方向にそろえることができる。

【0087】また、図7の実施形態では、ステップ・アンド・スキャン方式を採用したが、実施形態の露光装置をスティッチング及びスリットスキャン型の露光装置としても良い。スティッチング及びスリットスキャン方式を採用する場合、レチクル上の所定形状の照明領域に対して相対的に所定の第1の方向にレチクル及び基板を同期して走査することにより、基板上の第1列目の領域への露光が行われる。その後、そのレチクルを交換するか、又はそのレチクルを上記照明領域の第1の方向と直交する第2の方向に沿って所定量だけ移動させて、基板を照明領域の第2の方向と共に方向に横ずれさせる。そして、再びレチクル上の所定形状の照明領域に対して相対的に第1の方向にレチクル及び基板を同期して走査することにより、基板上の第2列目の領域への露光を行う。

【0088】このようなスティッチング及びスリットスキャン型の露光装置では、投影光学系の露光フィールドよりも広い基板上の領域にレチクルのパターンを露光することができる。なお、このようなスティッチング及びスリットスキャン型の露光装置は、米国特許第5,477,304号公報、特開平8-330220号公報、特開平10-284408号公報などに開示されている。なお、上記実施形態では、基板上の所定のショット領域に対してレチクル上のパターン像を一括転写する一括露光方式も採用することができる。

【0089】また、図7の実施形態では、ワーク（感光性基板）としてのウエハを保持するウエハステージを1つ設けたが、例えば特開平5-175098号、特開平10-163097号、特開平10-163098号、特開平10-163099号、または特開平10-214783号などに開示されるように、2組のウエハステージを設ける構成であっても良い。

【0090】さらに、半導体素子の製造に用いられる露光装置だけでなく、液晶表示素子などを含むディスプレイの製造に用いられる、デバイスパターンをガラスプレート上に転写する露光装置、薄膜磁気ヘッドの製造に用いられる、デバイスパターンをセラミックウエハ上に転写する露光装置、撮像素子（CCDなど）の製造に用い

られる露光装置などにも本発明を適用することができる。また、レチクルまたはマスクを製造するためにガラス基板またはシリコンウエハなどに回路パターンを転写する露光装置にも、本発明を適用することができる。

【0091】以上、添付図面を参照しながら本発明にかかる好適な実施形態について説明したが、本発明はかかる例に限定されることは言うまでもない。当業者であれば、特許請求の範囲に記載された技術的思想の範疇内において、各種の変更例または修正例に想到し得ることは明らかであり、それらについても当然に本発明の技術的範囲に属するものと了解される。

#### 【0092】

【発明の効果】以上、詳細に説明したように本発明によれば、高コスト化を招くことなく、良好に色収差補正され、微細なパターンを高解像に投影可能な投影光学系を提供できる。また、本発明によれば、極めて微細化された投影原版のパターンの像を基板上に良好に投影露光可能な投影露光装置及び投影露光方法を提供でき、微細な回路パターンを高解像に形成することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の第1実施例の投影光学系の光路図である。

【図2】 本発明の第2実施例の投影光学系の光路図である。

\* 【図3】 本発明の第3実施例の投影光学系の光路図である。

【図4】 本発明の第1実施例の投影光学系の収差図である。

【図5】 本発明の第2実施例の投影光学系の収差図である。

【図6】 本発明の第3実施例の投影光学系の収差図である。

【図7】 本発明の実施の形態に係る投影露光装置の構成図である。

【図8】 本発明の実施の形態に係る光源の概略構成図である。

【図9】 本発明の別の実施の形態に係る光源の概略構成図である。

【図10】 本発明の実施の形態に係るマイクロデバイス製造方法の一例を示すフローチャートである。

【図11】 本発明の実施の形態に係るマイクロデバイス製造方法の別の一例を示すフローチャートである。

#### 【符号の説明】

20 A S 開口絞り

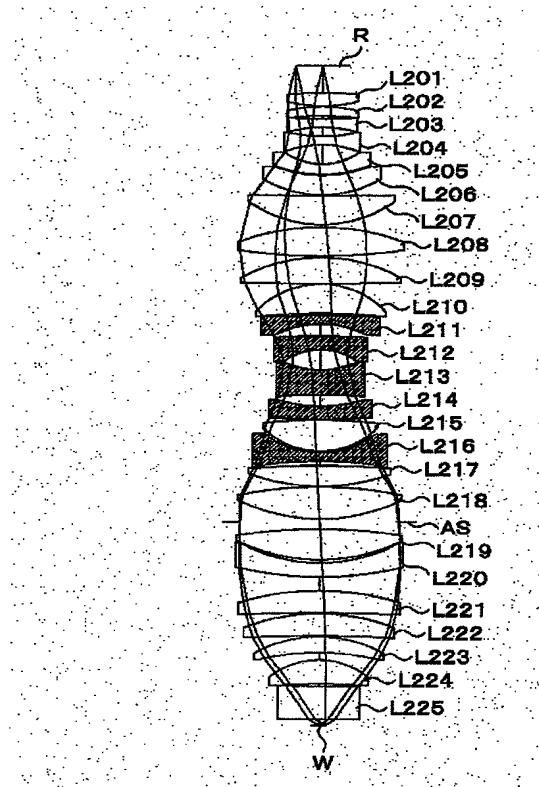
P L 投影光学系

R レチクル

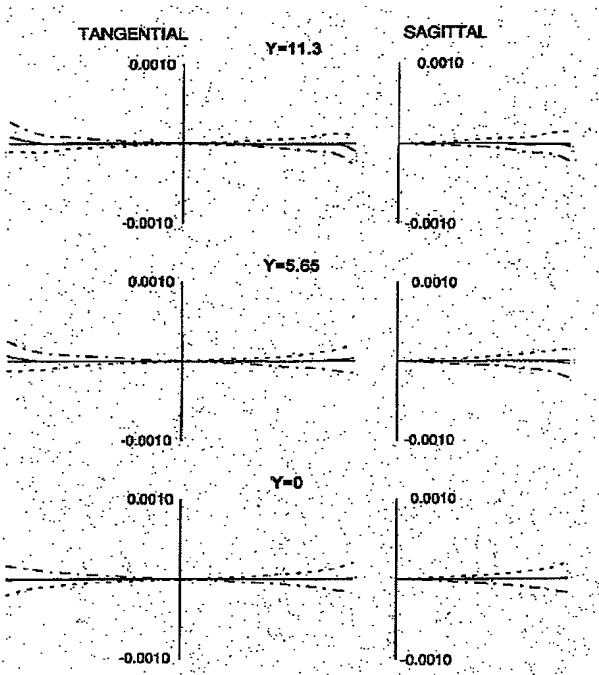
W ウエハ

\*

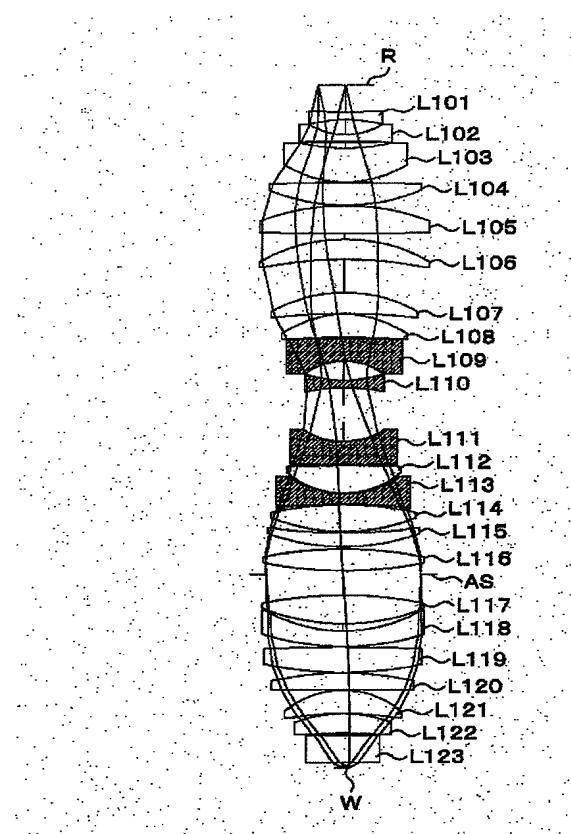
【図2】



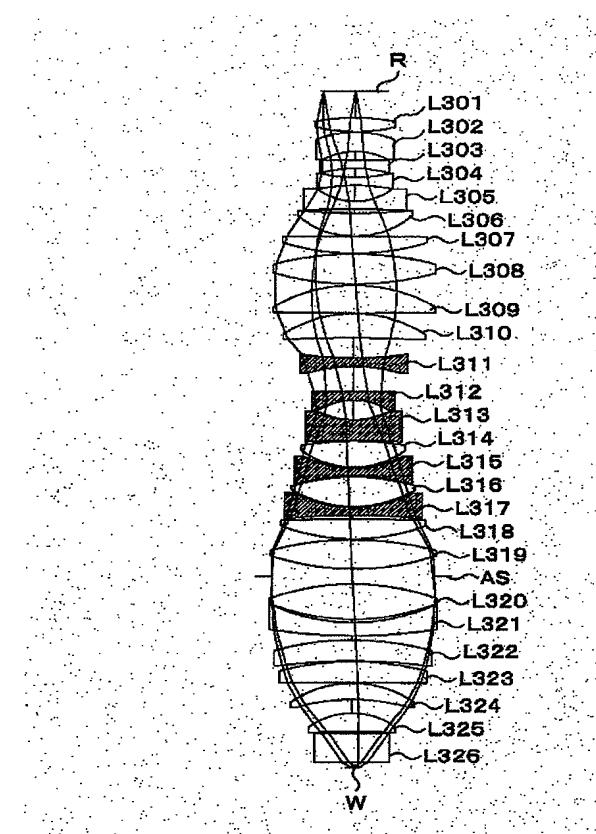
【図4】



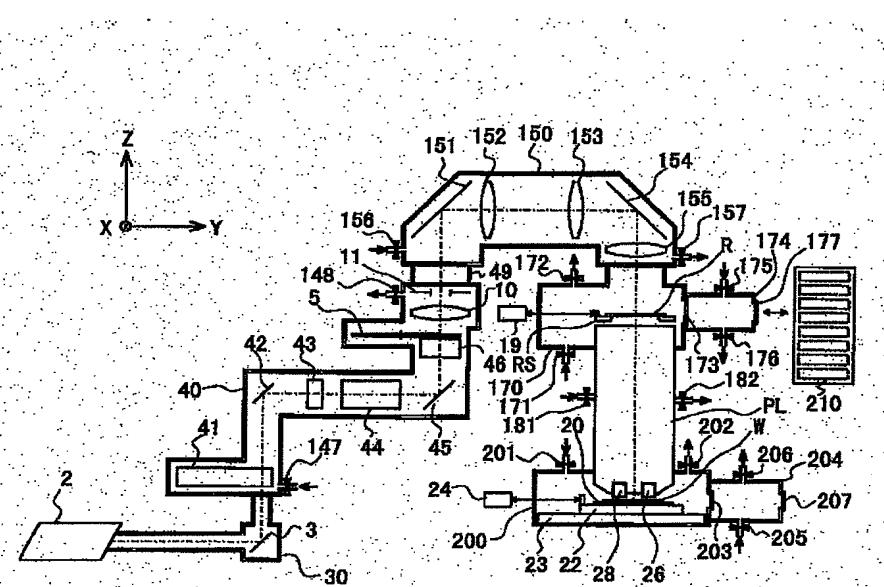
[図1]



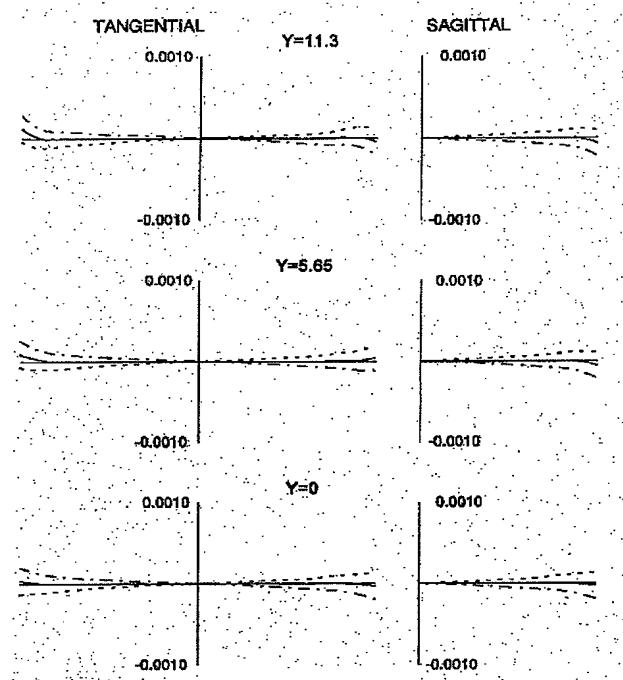
[図3]



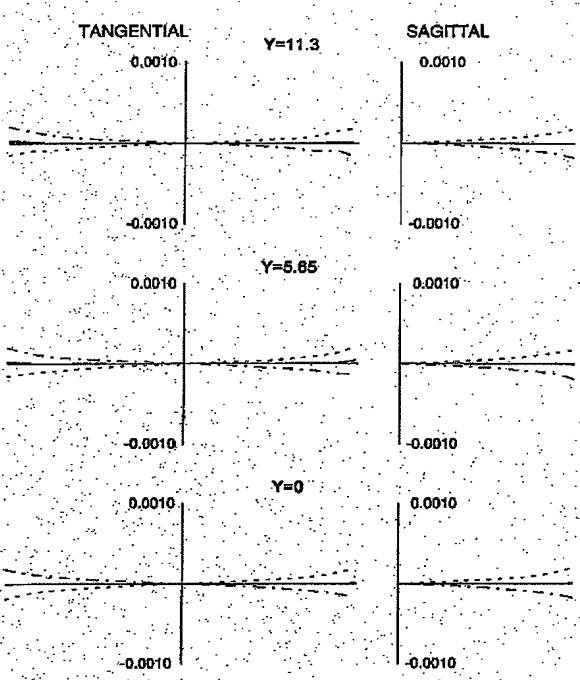
[図7]



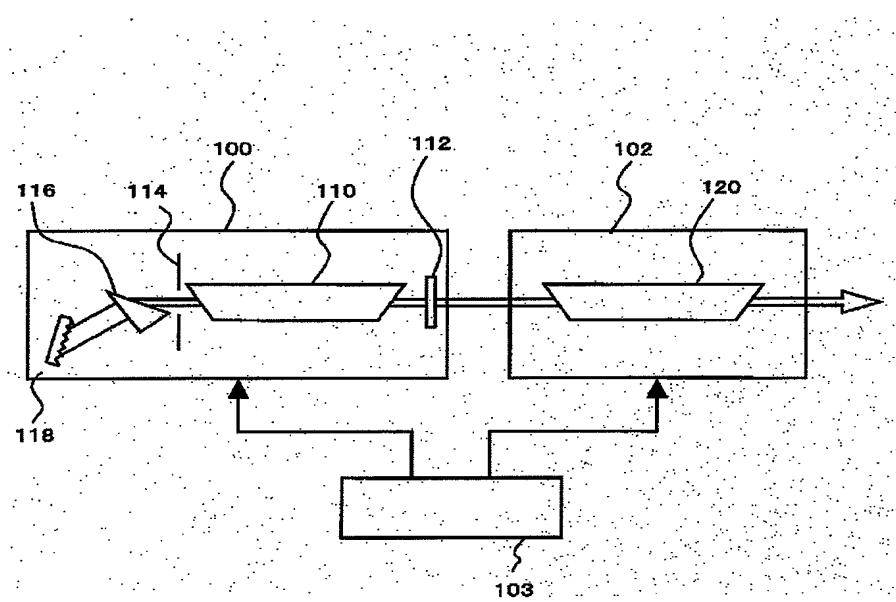
【図5】



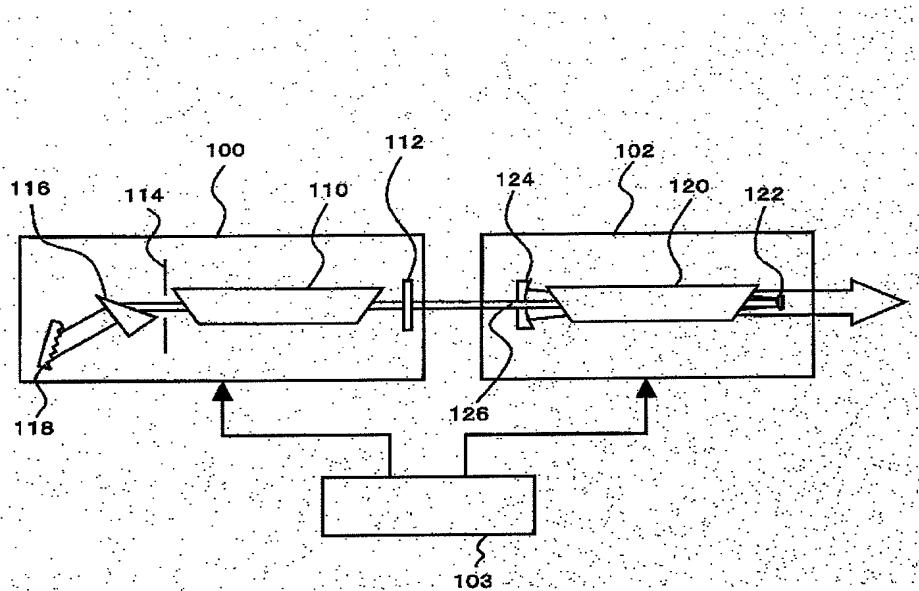
【図6】



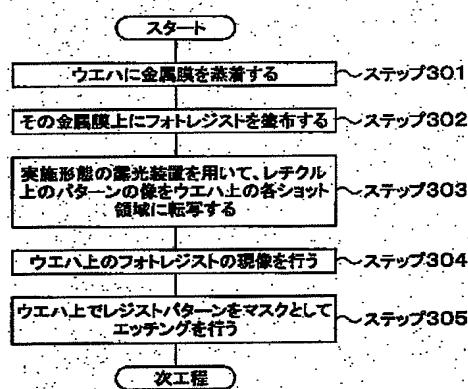
【図8】



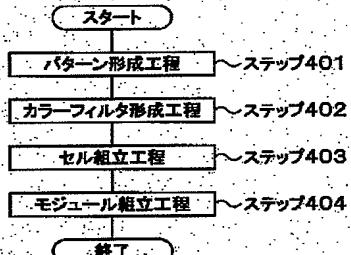
【図9】



【図10】



【図11】



フロントページの続き

F ターム(参考) 2H087 KA21 LA01 NA04 PA15 PA17  
 PB20 QA02 QA03 QA05 QA06  
 QA14 QA19 QA21 QA22 QA25  
 QA26 QA32 QA33 QA41 QA45  
 RA05 RA12 RA13 RA37 RA42  
 UA04  
 2H097 CA06 CA13 LA10 LA12 LA20  
 5F046 CB12 CB25 DA12